

DAMPAK PENGURANGAN RUANG TERBUKA HIJAU (RTH) PERKOTAAN TERHADAP PENINGKATAN SUHU UDARA DENGAN METODE PENGINDERAAN JAUH

(Impact Reducing Urban Green Space towards Increasing Air Temperature Using
Landsat Data)

Sobri Effendy

Department of Geophysics and Meteorology
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Bogor Agriculture University (IPB)
IPB Darmaga Campus FMIPA Building, Level 4, Wings 19
Jl. Raya Darmaga Bogor, Indonesia 16680
email: sobrieffendy2001@yahoo.com

ABSTRACT

The aim of this study is to determine correlation urban green space and air temperature using landsat data at JABOTABEK. Using Landsat data can cover deficit data from conventional climate station also can to identify magnitude urban green space. Air temperature series are derived from band 6 images Landsat data, including the NDVI from band 3 and 4 which is used as the bases for generating urban green space of the study area. The correlation urban green space and air temperature are non-linier correlation to entire all locations Jakarta, Bogor city and regency, also Tangerang and Bekasi. Reduction or increasing urban green space causes enhanced or depreciation air temperature with differ magnitude, where every decreased 50% urban green space area causes increase air temperature up 0.4 to 1.8°C, while the increase 50 % of urban green space area only decrease air temperature as big as up 0.2 to 0.5°C. This result that important meaning to defend urban green space reduction, also using Landsat data can equip climate data deficit from conventional climate station.

Keywords: air temperature, conventional climate station, jabotabek, landsat data, urban green space

PENDAHULUAN

Ruang Terbuka Hijau (RTH) wilayah JABOTABEK berkurang sebesar 23% selama periode waktu 1972-1997. Pada periode yang sama terjadi peningkatan ruang terbangun (RTB) sebesar 23% (Zain, 2002). Pengurangan RTH diduga menjadi salah satu penyebab peningkatan suhu udara. Diperlukan penelitian untuk membuktikan dugaan tersebut. Peningkatan suhu udara perkotaan merupakan fenomena *Urban Heat Island* (UHI), yakni peningkatan suhu udara perkotaan (*urban*) dibandingkan wilayah *suburban* dan *rural*.

Kajian UHI dengan pendekatan analisis data stasiun cuaca telah dilakukan oleh Hidayati (1990); Karyoto *et al.* (1992); Adiningsih (1997) dan Santosa (1998) didapatkan suhu udara kota Jakarta lebih tinggi 0.02-1.0 °C dibandingkan wilayah *suburban/rural*. Dalam studi yang bertema keterkaitan RTH dan UHI di wilayah JABOTABEK dilakukan analisis dengan menggunakan data penginderaan jauh.

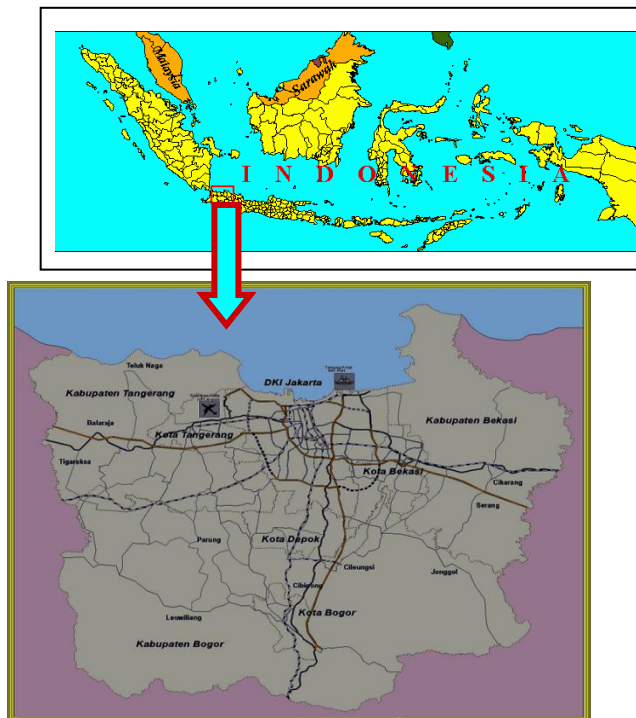
Kelebihan penginderaan jauh dalam hal penyediaan data spasial rapat dengan akurasi baik serta cakupan wilayah yang luas telah dibuktikan oleh Streutker (2003). Sehingga keterbatasan jumlah stasiun cuaca konvensional secara spasial dapat ditutupi dengan penggunaan penginderaan jauh. Keunggulan lainnya dalam hal tersedianya multikanal, sehingga untuk sekali pengambilan data dapat dikeluarkan beberapa parameter secara bersamaan, dengan demikian penentuan hubungan keterkaitan antara RTH dan suhu udara menjadi potensial sebagai bahan kajian.

Pemanfaatan data penginderaan jauh paling banyak digunakan di Indonesia adalah Landsat (51%), disusul citra SPOT (19%), Foto udara (13%), Radarsat (9%), JERS (8%), GMS (0.4%), dan jenis citra lain (0.6%), dengan pengguna dari pemerintah, lembaga perguruan tinggi/peneliti dan pihak swasta. Penggunaan Landsat yang relatif tinggi karena beberapa keunggulannya, seperti cakupan datanya yang luas (185 x 185 km) dapat dipakai untuk kajian regional, memberikan informasi permukaan setiap 16 hari sehingga terjaga kekontinuan datanya, dengan resolusi (30 x 30 m), cukup baik bagi kajian karakteristik permukaan dengan data lebih rapat secara spasial, serta dengan multi spektral, objek yang sama diambil dengan multi kanal menghasilkan keluaran beberapa parameter permukaan untuk sekali pengambilan data. Sehingga hubungan dan penyusunan persamaan secara kuantitatif dapat dilakukan antara RTH dengan suhu udara.

Keberadaan RTH pada skala mikro-regional memiliki fungsi ekologis dalam hal mengatur suhu udara, sehingga setiap kebijakan mengubah RTH akan mengubah suhu udara. Perubahan suhu udara diyakini menyebabkan terjadinya fenomena *urban heat island* (UHI) perkotaan. Sehingga perlu diteliti bagaimana dampak perubahan RTH terhadap perubahan suhu udara perkotaan. Disusun dengan tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian adalah mengkaji dampak perubahan RTH terhadap suhu udara dengan memanfaatkan metode penginderaan jauh.

METODOLOGI

Tahap pertama kajian pustaka dimulai. Tahap kedua pengumpulan, pengolahan, analisis, interpretasi, kalibrasi dan verifikasi data serta penulisan laporan dimulai Januari 2008 hingga September 2009 di Laboratorium Meteorologi dan Pencemaran Atmosfer, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas MIPA-IPB. Wilayah kajian melingkupi JABOTABEK meliputi tiga provinsi: DKI Jakarta, Jawa Barat dan Banten (Gambar 1).



Gambar 1 Wilayah studi

Alat dan Bahan

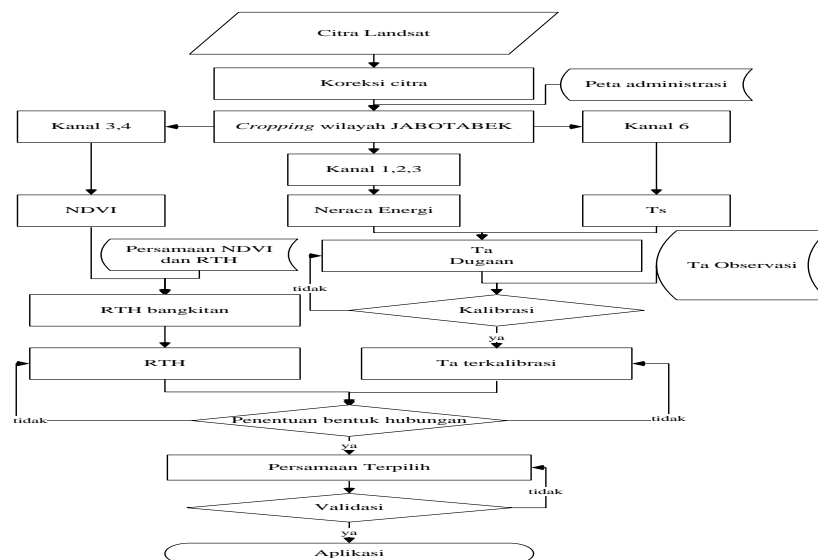
Seperangkat PC sebagai instrumen untuk menganalisis dan mengekstrak data NDVI, RTH, suhu permukaan, neraca energi, suhu udara dan THI. Bahan – bahan yang digunakan antara lain:

- Citra Landsat *path/raw* : 122/64-65 (JABOTABEK)
- Peta spasial administrasi JABOTABEK skala 1: 25.000 digunakan sebagai bahan *cropping* atau pemotongan wilayah kajian.
- Data suhu udara periode 1970-2004 wilayah JABOTABEK sebagai data referensi dan kalibrasi hasil estimasi suhu udara luaran ekstrak Landsat, serta data suhu udara

2005 sebagai bahan verifikasi model. Stasiun yang tersedia di wilayah JABOTABEK meliputi 12 stasiun iklim: Tanjung Priok, Jakarta Obs, Cengkareng, Halim Perdana Kusuma, Ciledug, Curug-Tangerang, Cibinong, Atang Sanjaya, Cimanggu, Darmaga, Kampus Baranangsiang dan Muara

Metodologi Penelitian

- Pada Citra Landsat dilakukan pemulihan citra (*image restoration*) meliputi koreksi radiometrik, koreksi geometrik dan dilakukan penajaman citra (*image enhancement*), penajaman kontras, pewarnaan semu, dan penapisan agar mudah interpretasi secara visual.
- Pemotongan citra dengan menggunakan peta digital administrasi JABOTABEK
- Pada kanal 3 dan 4 dilakukan ekstraksi nilai NDVI dengan menerapkan Rumus: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$.
- Berdasarkan Persamaan yang didapatkan Zain (2002):
Persen RTH = $382.4 \text{ NDVI} + 20.793$



Gambar 2 Diagram alir penentuan bentuk hubungan RTH dan suhu udara

- Pada kanal 1, 2 dan 3 diekstrak neraca energi sehingga didapatkan nilai-nilai $R_s \text{ in}$, $R_s \text{ out}$ dan $R_l \text{ in}$, $R_l \text{ out}$ sehingga didapat R_n .
- Pada kanal 6 diekstrak nilai suhu permukaan, secara rinci diterangkan pada akhir bab metodologi berikut rumus-rumus yang digunakan.

- Berdasarkan suhu permukaan dan fluks energi H diekstrak nilai suhu udara (T_a). Agar sesuai dengan data observasi dari 12 stasiun iklim dilakukan kalibrasi terhadap suhu udara hasil ekstraksi, dengan cara analisis regresi.
- Data RTH bangkitan dan T_a yang telah terkalibrasi diekspor menjadi data tabel untuk diolah lebih lanjut, yakni penentuan bentuk hubungan.
- Penentuan bentuk hubungan suhu udara dan RTH dengan mencari model persamaan kedua peubah tersebut apakah linier, kuadratik atau kubik. Sebagai dasar pemilihan model persamaan adalah melihat pola penyebaran data yang paling mendekati garis model persamaan, nilai koefisien determinasi terkoreksi (R^2_{adj}) dan standar deviasi model (S). Setelah persamaan terpilih dilakukan uji regresi baik konstanta (*slope*) maupun koefisien persamaan. Dilanjutkan validasi persamaan untuk mengetahui output nilai dugaan dengan data observasi. Setelah validasi persamaan yang terpilih dapat diaplikasikan atau direkomendasikan.

Adapun tahapan dan rumus-rumus untuk mendapatkan data suhu udara adalah sebagai berikut:

(1) Pendugaan Suhu Permukaan (*Surface Temperature*)

(a) Konversi nilai *spectral radiance* (L_λ) ke *Brightness Temperature* (T_B)

Persamaan dengan dua konstanta kalibrasi, $K_1 = 666.09 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ dan $K_2 = 1282.71\text{K}$ untuk Landsat ETM, untuk Landsat TM, $K_1 = 607.76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ dan $K_2 = 1260.56\text{K}$, dirumuskan Planck:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(b) Konversi *Brightness Temperature* (T_B) ke suhu permukaan (T_s)

Persamaan ditentukan pertama kali oleh Artis dan Canahan (1982) serta Weng (2001):

$$T_s = \frac{T_B}{1 + \frac{\lambda T_B}{\rho} \ln \varepsilon} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- T_s = Suhu permukaan (K)
- λ = Panjang gelombang dari radiasi yang dipancarkan sebesar $11,5 \mu\text{m}$ nilai tengah kanal 6
- ρ = hc/σ (besarnya $= 1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$)
- h = Konstanta Planck's ($6.26 \times 10^{-34} \text{ J sec}$)
- c = Kecepatan cahaya ($2.998 \times 10^8 \text{ m.sec}^{-1}$)
- σ = Konstanta Stefan-Boltzman ($1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$)
- ε = Emisivitas objek, untuk lahan RTH=0.95 sedangkan non-RTH=0.92 (Weng, 2001)
- T_B = Suhu kecerahan (*brightness temperature*)

2. Penentuan Neraca Energi:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{sin} + \varepsilon_a \sigma T_a^4 - 0.7(1 + 0.17N^2) - \varepsilon \sigma T_s^4 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- R_n : Radiasi netto (Wm^{-2})
 R_{sin} : Radiasi gelombang pendek yang datang (Wm^{-2}) ekstraksi Landsat
 R_{sout} : Radiasi gelombang pendek yang keluar (Wm^{-2})
 R_{in} : Radiasi gelombang panjang yang datang (Wm^{-2})
 R_{out} : Radiasi gelombang panjang yang keluar (Wm^{-2})
 α : Albedo permukaan (diturunkan dari ekstraksi Landsat)
 T_s : Suhu permukaan (K) (diturunkan dari ekstraksi Landsat)
 T_a : Suhu udara (K) (diduga dari ekstraksi Landsat)
 ε : Emisivitas permukaan (Weng, 2001)
 ε_a : Emisivitas udara ($0.938 \times 10^{-5} T_a^2 K^{-2}$)
 σ : Tetapan Stefan-Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$)
 N : Faktor keawanan (%), pada kondisi cerah=0

$$R_{sin} = \frac{R_{sout}}{\alpha} \dots\dots\dots(4)$$

Radiasi gelombang panjang yang dipantulkan (R_{out}) dapat diturunkan dari persamaan Stefan-Boltzman, dimana ε = emisivitas, T_s merupakan Suhu permukaan objek (K) dan σ = Tetapan Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$):

$$R_{out} = \varepsilon \sigma T_s^4 \dots\dots\dots(5)$$

Dapat juga menggunakan persamaan Stull (1995):

$$R_{lin} = R_{netto} - R_{out} = 98.5(1 - 0.1\sigma H - 0.3\sigma M - 0.6\sigma L) - R_{out}$$

Di mana σH , σM dan σL adalah persentase penutupan awan tinggi, menengah dan rendah. Karena data Landsat yang diolah cerah tanpa awan, persamaan menjadi:

$$R_{lin} = 98.5 - R_{out} \dots\dots\dots(6)$$

Di mana 98.5 adalah konstanta dengan satuan Wm^{-2} .

b. Fluks Panas Tanah (*Soil Heat Flux*)

Allen *et al* (2001) dan Chemin (2003):

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \dots\dots\dots(7)$$

- G : Fluks energi untuk memanaskan permukaan secara konduksi (Wm^{-2})
 R_n : Radiasi netto (Wm^{-2})
 T_s : Suhu permukaan (K) (diturunkan dari ekstraksi Landsat)

α : Albedo permukaan (diturunkan dari ekstraksi Landsat)

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index* (diturunkan dari ekstraksi Landsat)

c. Fluks Panas Udara (*Sensible Heat Flux*)

$$H = \frac{\beta(R_n - G)}{1 + \beta} \dots\dots\dots(8)$$

(d) Fluks Panas Laten

$$\lambda E = R_n - G - H \dots\dots\dots(9)$$

3. Penentuan Suhu Udara

Suhu udara dari nilai *sensible heat flux* (Monteith dan Unsworth 1990):

$$H = \frac{\rho_{air} C_p (T_s - T_a)}{r_{aH}} \dots\dots\dots(10)$$

Berdasarkan persamaan 10, dapat ditentukan persamaan untuk menduga suhu udara (T_a) sebagai:

$$T_a = T_s - \left[\frac{H \times r_{aH}}{\rho_{air} \times C_p} \right] \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan:

- H = Fluks pemanasan udara (Wm^{-2})
 ρ_{air} = Kerapatan udara lembab (1.27 kg m^{-3})
 C_p = Panas spesifik udara pada tekanan konstan ($1004 \text{ J Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
 T_s = Suhu permukaan (K)
 T_a = Suhu udara (K)
 Tahanan aerodinamik (sm^{-1}) Rosenberg (1974):
 $r_{aH} = r_{aH} = 31.9 \times u^{-0.96}$ u: kecepatan angin normal pada ketinggian 2 m untuk RTB= 1.79 ms^{-1} dan RTH= 1.41 ms^{-1}

HASIL DAN PEMBAHASAN

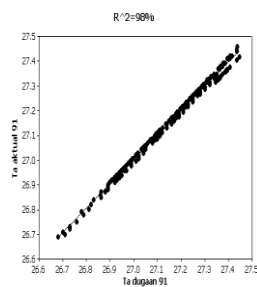
Hasil analisis bentuk hubungan antara RTH dan suhu udara didapatkan persamaan berbentuk non-linier kubik. Bentuk persamaan non-linier kubik dipilih berdasarkan pola sebaran data dan pada nilai koefisien determinasi terkoreksi ($R^2 \text{ adj}$) tertinggi serta nilai standar deviasi model (S) terendah.

Secara rinci hasil analisis (Tabel 1), terdapat kecenderungan yang sama semua persamaan antara RTH dan suhu udara, secara konsisten nilai koefisien determinasi tertinggi dan nilai standar deviasi model terendah terdapat pada persamaan non-linier kubik.

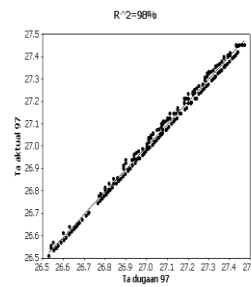
Tabel 1 Nilai koefisien determinasi (R^2_{adj}) dan standar deviasi model (S) persamaan RTH dan suhu udara

No	WILAYAH	LINIER		KUADRATIK		KUBIK	
		R^2_{adj}	S	R^2_{adj}	S	R^2_{adj}	S
1.	Jakarta	85	0.11	97	0.05	98	0,04
2.	Kota Bogopr	89	0.16	97	0.04	99	0,01
3.	Kab. Bogor	86	0.16	96	0.03	99	0,01
4.	Kota Tangerang	89	0.13	97	0.09	99	0,01
5.	Kab. Tangerang	89	0.10	96	0.03	99	0,01
6.	Kota Bekasi	87	0.07	97	0.05	99	0,02
7.	Kab. Bekasi	89	0.10	96	0.03	99	0,02

Hasil validasi model persamaan ekstraksi Landsat, mampu menduga sebesar 98% data suhu udara hasil ekstraksi Landsat 1991 mendekati nilai aktual 1991 dan menduga sebesar 98% suhu udara hasil ekstraksi Landsat 1997 mendekati nilai aktual 1997 (Gambar 3).



(a)



(b)

Gambar 3 Validasi model persamaan untuk data tahun 1991 (a) dan data tahun 1997 (b)

Berdasarkan hasil validasi model, ditetapkan model persamaan antara RTH dan suhu udara dituliskan sebagai:

$$Y = b_0 - b_1X + b_2X^2 - b_3X^3$$

Y merupakan suhu udara ($^{\circ}\text{C}$) dan X merupakan RTH (%), uji regresi nilai konstanta b_0 dan koefisien b_1 , b_2 dan b_3 (Tabel 2).

Tabel 2 Nilai konstanta dan koefisien persamaan RTH dan Suhu udara JABOTABEK

No.	Wilayah	Nilai konstanta dan koefisien			
		b_0	b_1	b_2	b_3
1.	Jakarta	27,5**	$7,4 \times 10^{-3**}$	$2,2 \times 10^{-4**}$	$4,0 \times 10^{-6**}$
2.	Kota Bogor	27,4**	$8,2 \times 10^{-3**}$	$1,5 \times 10^{-4**}$	$2,0 \times 10^{-6**}$
3.	Kab. Bogor	27,2**	$8,4 \times 10^{-3**}$	$1,5 \times 10^{-4**}$	$2,0 \times 10^{-6**}$
4.	Kota Tangerang	27,4**	$1,6 \times 10^{-2**}$	$2,7 \times 10^{-4**}$	$3,0 \times 10^{-6**}$
5.	Kab. Tangerang	27,2**	$1,2 \times 10^{-2**}$	$2,0 \times 10^{-4**}$	$2,0 \times 10^{-6**}$
6.	Kota Bekasi	27,3**	$4,8 \times 10^{-3**}$	$2,8 \times 10^{-4**}$	$1,0 \times 10^{-6**}$
7.	Kab. Bekasi	27,2**	$3,8 \times 10^{-3**}$	$4,9 \times 10^{-4**}$	$1,0 \times 10^{-6**}$

Keterangan: angka yang diikuti tanda **, sangat nyata pada taraf $\alpha=1\%$

Pembahasan Persamaan RTH dan Suhu Udara

Penjelasan secara ilmiah mengenai laju pemanasan/pendinginan suhu udara akibat pengurangan atau penambahan RTH adalah mengikuti hukum pendinginan Newton (Holman and White, 1992) dinyatakan secara matematis sebagai:

$$q = hA(T_o - T_1)$$

di mana, q adalah laju transfer panas melalui konveksi, h koefisien transfer panas melalui konveksi, A luasan permukaan yang dikaji, T_o suhu udara pada kondisi awal, T_1 suhu udara pada kondisi akhir. Bila dikaji nilai perubahan suhu udara rumusan tersebut dapat dituliskan kembali sebagai:

$$\Delta T = \frac{q}{hA}$$

Pada saat nilai q kita asumsikan tetap dan luasan (A) RTH berkurang maka nilai perubahan suhu udara menjadi besar, hal ini berarti suhu akhir lebih besar dari pada suhu awal, sehingga pengurangan RTH menyebabkan peningkatan suhu udara. Sementara pada saat terjadi penambahan RTH nilai A pada rumus di atas menjadi lebih besar yang membawa dampak terhadap makin kecilnya ΔT atau nilai suhu udara akhir mendekati nilai awal, dengan kata lain suhu udara mengalami pendinginan akibat penambahan RTH.

Sedangkan penyebab laju penambahan suhu akibat pengurangan RTH mempunyai laju lebih besar dibandingkan laju pendinginan suhu udara akibat penambahan RTH adalah disebabkan pada saat RTH bertambah proses penutupan lahan urban dengan vegetasi baru tidak serta merta tertutup atau setara dengan penutupan RTH yang sudah ada. Diperlukan proses pertumbuhan yang memerlukan waktu tahunan untuk mencapai fase dewasa atau menaungi permukaan.

Sehingga laju pendingan berjalan lebih lambat, terindikasi pada nilai suhu akhir berkurang sedikit dibandingkan suhu udara mula-mula, yaitu setiap penambahan RTH 50% suhu udara berkurang sebesar 0.2 hingga 0.5°C. Sedangkan pada saat terjadi pengurangan RTH maka serta merta permukaan lahan urban terbuka dari naungan dalam waktu relatif singkat berakibat pada laju transfer panas ke udara di atasnya lewat konveksi juga menjadi lebih cepat. Akibatnya nilai perubahan suhu (ΔT) menjadi besar berdampak pada laju pemanasan suhu udara lebih besar dengan indikasi nilai suhu udara akhir bertambah banyak dibandingkan suhu udara mula-mula, yakni setiap pengurangan RTH 50% suhu udara bertambah sebesar 0.4-1.8°C.

Perbandingan laju penambahan/pengurangan suhu udara akibat pengurangan/penambahan RTH untuk ke empat kota, laju terbesar baik penambahan maupun pengurangan suhu udara terjadi di Tangerang, disusul Jakarta, Bogor dan Bekasi. Tangerang merupakan kota yang permukaannya lebih kering (luasan badan air lebih kecil dibandingkan dengan Bekasi, Jakarta dan Bogor) sehingga laju penambahan dan pengurangan suhu udara menjadi lebih cepat terindikasi pada ΔT yang lebih besar dibandingkan tiga kota lainnya.

Pada permukaan yang relatif kering radiasi netto dominan digunakan untuk memanaskan permukaan dan udara di atasnya dibandingkan untuk penguapan. Sehingga udara menjadi lebih cepat panas pada saat RTH berkurang dan cepat dingin pada saat RTH bertambah. Pendapat ini didukung oleh hasil penelitian Oke, *et al.*, (1991) dan Voogt (2002).

Sebaliknya Bogor dan Bekasi, mempunyai permukaan yang lebih basah karena banyak vegetasi (Bogor) dan lebih banyak badan air (Bekasi). Dampak permukaan yang lebih basah adalah laju pemanasan dan pendinginan udara menjadi lebih kecil, seperti yang terlihat untuk kota Bekasi setiap RTH bertambah 50% suhu berkurang 0.3°C dan setiap RTH berkurang 50% suhu udara meningkat 0.5°C, bandingkan dengan Tangerang (suhu berkurang 0.5°C dan meningkat sebesar 1.8°C), Jakarta (suhu berkurang 0.3°C dan meningkat sebesar 1.4°C) serta Bogor (suhu berkurang 0.3°C dan meningkat sebesar 1.0°C). Hal ini menunjukkan pentingnya mempertahankan bahkan menambah luasan RTH dan badan air, karena udara cenderung menjadi lebih lembab. Udara lembab menjadi penyebab peningkatan atau penurunan suhu udara menjadi lebih kecil pada setiap pengurangan atau penambahan RTH dibandingkan udara kering.

Sementara perbandingan antara wilayah kota dan kabupaten, baik yang terjadi di Tangerang maupun Bekasi mempunyai kecenderungan yang sama, yakni laju pendinginan udara di kota menjadi lebih besar pada setiap penambahan persentase RTH yang sama bila dibandingkan dengan wilayah kabupaten. Begitu pula laju pemanasan, lebih besar terjadi di kota untuk setiap pengurangan persentase RTH yang sama, bila dibandingkan dengan wilayah kabupaten. Contoh untuk kota dan kabupaten Tangerang setiap penambahan RTH 50% terjadi pengurangan suhu udara sebesar 0.5°C (di kota) dan 0.4°C (di kabupaten). Setiap pengurangan RTH 50% terjadi penambahan suhu udara sebesar 1.8°C (di kota) dan 1.3°C (di kabupaten).

Hal yang sama terjadi di Bekasi, hal ini disebabkan pengurangan RTH di kota lebih besar dibandingkan RTH kabupaten. Perubahan permukaan dari RTH yang relatif basah menjadi RTB yang relatif kering di perkotaan berdampak makin keringnya udara di atas perkotaan. Akibatnya setiap pengurangan atau penambahan RTH berdampak lebih besar pada peningkatan atau penurunan suhu udara. Hal ini terjadi karena udara kering merupakan konservator panas yang buruk, cenderung cepat panas dan cepat dingin dengan pengurangan dan penambahan RTH.

Namun terdapat pengecualian untuk Bogor, di mana wilayah kota dan kabupaten mempunyai kecenderungan nilai yang sama, diduga keberadaan Kebun Raya Bogor sebagai RTH memberikan kontribusi positif bagi meredam panasnya perkotaan. Hasil ini didukung hasil penelitian Santosa dan Bey (1992) tentang dampak keberadaan Kebun Raya bagi kenyamanan iklim mikro perkotaan.

Batas aman pengurangan RTH untuk Jakarta, kota dan kabupaten Bogor sebesar 30%, artinya **setiap pengurangan RTH melampaui batas tersebut maka akan terjadi kenaikan suhu udara dengan laju yang besar** (dua kali lebih besar dibandingkan perubahan awal), bila dibandingkan dengan pengurangan RTH di bawah 30%. Hal yang sama berlaku untuk kota dan kabupaten Tangerang pada batas kritis pengurangan RTH yang lebih kecil yaitu 15 dan 20%, sementara kota dan kabupaten Bekasi pada batas kritis yang lebih besar hingga 35%. Secara rata-rata wilayah JABOTABEK mempunyai batas aman pengurangan RTH sebesar 28%. Hasil ini memberikan tambahan informasi bahwa kajian keterkaitan RTH dan suhu udara dengan asumsi hanya RTH yang berpengaruh terhadap suhu udara, ditemukan batas aman pengurangan RTH sebesar 28%.

KESIMPULAN

Penentuan bentuk hubungan RTH dan suhu udara menghasilkan persamaan terpilih *nonlinier* untuk Jakarta, kota dan kabupaten Bogor, Tangerang serta Bekasi. Model persamaan RTH dan suhu udara terpilih mempunyai pola hubungan terbalik di mana setiap laju pengurangan RTH menyebabkan peningkatan suhu udara dan s

Sebaliknya. Setiap pengurangan 50% RTH menyebabkan peningkatan suhu udara sebesar 0.4 hingga 1.8°C, sedangkan penambahan RTH 50% hanya menurunkan suhu udara sebesar 0.2 hingga 0.5°C. Hasil ini membuktikan akan pentingnya mempertahankan keberadaan RTH. Titik kritis pengurangan RTH untuk wilayah JABOTABEK sebesar 28%, bila nilai tersebut terlampaui maka terjadi kenaikan suhu udara dengan laju yang tajam (dua kali lebih besar dibandingkan perubahan awal). Ditemukan pula bahwa setiap penambahan atau pengurangan RTH berakibat pada turun atau naiknya suhu udara dengan nilai relatif besar di wilayah perkotaan dibandingkan wilayah kabupaten.

Penggunaan data penginderaan jauh untuk menutupi kekurangan kerapatan stasiun cuaca, dinilai mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan di masa-masa mendatang. Tanpa mengurangi pentingnya pengukuran secara insitu pada stasiun-stasiun cuaca sebagai bahan referensi atau rujukan, yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi atau memvalidasi model-model pendugaan berdasarkan ekstraksi data penginderaan jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen. 2001. *Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for Water Right Management and Compliance with Multi State Water Compacts*. Univ. of Idaho, Kimberly, ID 83341.
- Chemin, Y.H. 2003. *Fusion of Spatiotemporal Remotely Sensed Evapotranspiration by Data Assimilation for Irrigation Performance*. Asian Institute of Technologies Bangkok, Thailand.
- Draper, N.R. and H. Smith. 1992. *Applied regression analysis (second edition)*. Alih bahasa. Sumantri, B. PT Gramedia. Jakarta.
- Holman, J.P and P.R.S.White. 1992. *Heat Trensfer*. 7th Ed. in SI unit. McGraw-Hill Inc. UK. 713pp.
- Monteith, J.L. and Unsworth M.H. 1990. *Principles of environmental physics*. 2nd. Edward Arnold. London.

- Nieuwolt, S. 1975. *Tropical climatology, an introduction to the climate low latitude*. John Willey & Sons. New York.
- Oke, T.R. 1997. *Urban climate and global change, in Applied Climatology: Principles and Practices*, eds A Perry & R Thompson. London, 273-287pp.
- Rosenberg, N.J. 1974. *Microclimate: The Biological Environment*. John Willey and Sons. NY.
- Stull, R.B. 1995. *Meteorology Today for Scientists and Engineers, a Technical Companion Book*. West Publishing Company Co. USA. 385 pp.
- Voogt, J.A. 2002. *Urban heat island: causes and consequences of global environmental change*. John Wiley and Sons, Ltd. Chichester. 660-666pp.
- Weng, Q. 2001. A remote sensing –GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta. *Int. J. Remote sensing*, 2001. 22(10): 1999-2014.
- Zain, A.F.M. 2002. *Distribution, structure and function of urban green space in Southeast Asian Mega-cities with special reference to Jakarta Metropolitan Region (JABOTABEK)*. [Doctoral Degree Program]. Departement of Agricultural and Environmental Biology. The University of Tokyo.